



**Universidade Federal do Pará**  
**Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural**  
**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Amazônia Oriental**  
**Universidade Federal Rural da Amazônia**  
**Programa de Pós Graduação em Ciência Animal**

**Amanda de Sousa Matos**

**Estudo da interação genótipo-ambiente em rebanhos da raça  
Nelore na Amazônia Legal**

**Belém – Pará**  
**2011**

**Amanda de Sousa Matos**

**Estudo da interação genótipo-ambiente em rebanhos da raça  
Nelore na Amazônia Legal**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em  
Ciência Animal. Programa de Pós-Graduação em Ciência  
Animal. Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento  
Rural. Universidade Federal do Pará. Empresa Brasileira de  
Pesquisa Agropecuária – Amazônia Oriental. Universidade  
Federal Rural da Amazônia.

Área de concentração: Produção Animal.

Orientador: Dra. Cintia Righetti Marcondes

Co-orientador: Dr. José Ribamar Felipe Marques

**Belém – Pará  
2011**

**Amanda de Sousa Matos**

**Estudo da interação genótipo-ambiente em rebanhos da raça  
Nelore na Amazônia Legal**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em  
Ciência Animal. Programa de Pós-Graduação em Ciência  
Animal. Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento  
Rural. Universidade Federal do Pará. Empresa Brasileira de  
Pesquisa Agropecuária – Amazônia Oriental. Universidade  
Federal Rural da Amazônia.  
Área de concentração: Produção Animal.

Data : Belém - PA: 22/07/2011.

Banca Examinadora:

---

Presidente: Profa. Dra. Cintia Righetti Marcondes  
EMBRAPA – Pecuária Sudeste

---

Membro Titular: Prof. Dr. Paulo Roberto Nogara Rorato  
Universidade Federal de Santa Maria

---

Membro Titular: Prof. Dr. Diego de Córdova Cucco  
Universidade do Estado de Santa Catarina

---

Membro Suplente: Profa. Dra. Maria Rosa Travassos da  
Rosa Costa  
EMBRAPA – Amazônia Oriental

**Dedico a meus pais que sempre me  
incentivaram a alcançar meus  
objetivos.**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus que me concedeu a vida e colocou oportunidades em meu caminho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, pela oportunidade de realização do Mestrado.

À Dra. Cintia Righetti Marcondes, não só pela orientação e sabedoria compartilhada, mas também pela amizade, paciência, equilíbrio e calma em momentos que achei que não fosse conseguir.

Ao Dr. Ribamar Felipe Marques, por me dar a primeira oportunidade de estágio na área de melhoramento genético da Embrapa, e pela confiança em meu trabalho.

À ANCP pela concessão dos dados do PMGRN – Nelore Brasil, e os criadores por abrirem as portas de suas propriedades para esta instituição de pesquisa.

A colega de mestrado Josy Sena, minha companheira de “sofrimentos”, por me fazer acreditar que em certos momentos, ainda dá tempo.

A minha grande família: Amadeu e Meire Matos, meus pais, que acreditam e incentivam minhas idéias mirabolantes, minhas irmãs Bárbara e Catarina por me darem momentos necessários de estresse, e meu sobrinho Lucca que ainda está por chegar, mas já está me trazendo felicidade.

A minha tia Graça e meu cunhado Jorge por momentos de risos e descontração.

A meus amigos da veterinária Geanne, Aryane, Keyla, Diogo, Di, Carlos, que sempre estarão em meu coração.

A todos que de alguma forma me ajudaram para que este trabalho se concretizasse.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

**“Nas grandes batalhas da vida,  
o primeiro passo para a vitória  
é o desejo de vencer.”**

**Mahatma Gandhi**

## RESUMO

Dados de pesos padronizados aos 120 (P120), 210 (P210), 450 (P450) dias de idade, perímetro escrotal aos 450 dias de idade (PE450) e idade ao primeiro parto (IPP), de 211.744 registros de animais Nelore, provenientes de fazenda localizadas na região da Amazônia Legal, foram utilizados na análise. O efeito da interação genótipo-ambiente foi estudado por meio de estimativas de herdabilidade e de correlações entre classificações, comparando os animais da Amazônia Legal com a base geral de animais do PMGRN – Nelore Brasil. As análises bi-característica consideraram o P120 como característica-âncora, com P210, P450 e PE450. O modelo de análise considerou grupo de contemporâneos de P120, P210, P450 e da classe de idade da vaca ao parto (CIVP) como efeitos fixos e os efeitos aleatórios genéticos aditivos diretos, maternos e residuais. Nas análises de P120 com P450 e com PE450 foi desconsiderado o efeito materno no modelo. A covariância aditivo-materna foi fixada em zero, conforme protocolo estabelecido nas análises do PMGRN – Nelore Brasil. A característica IPP foi analisada separadamente, em análise de característica única e considerando como efeito fixo o GCIPP e como aleatórios os efeitos aditivos genéticos e residual. Para realizar a comparação entre classificações, por meio do procedimento PROC CORR opção spearman do SAS. As estimativas de herdabilidade para P120, P210, P450, PE450 e IPP nos dados da Amazônia Legal foram: 0,20 a 0,49; 0,21; 0,48; 0,45 e 0,21, respectivamente, e nos dados gerais do PMGRN – Nelore Brasil foram: 0,23; 0,25; 0,34; 0,43 e 0,11, respectivamente. As correlações entre classificações de *rank* para P120, P210, P450, PE450 e IPP foram iguais a 0,77; 0,79; 0,82; 0,78 e 0,38, respectivamente. As análises da interação genótipo-ambiente evidenciaram maiores efeitos sobre os aspectos maternos, de peso ao sobreano e IPP, enquanto que as correlações entre classificações mostraram fortes evidências de interação genótipo-ambiente em quase todas as características estudadas.

**Palavras-chave:** Bovinos. Modelo animal. Estimação de parâmetros genéticos. Correlação de *rank*. Interação genótipo-ambiente. Herdabilidade.

## ABSTRACT

Data from adjusted weights at 120 (P120), 210 (P210), 450 (P450) days of age, scrotal circumference at 450 days of age (PE450) and age at first calving (IPP), for 211,744 records from Nelore herds located in the Legal Amazon region, were used in the analysis. The effect of genotype-environment interaction was studied through heritability estimates and correlations between ranks, comparing the Legal Amazon animals with the general basis of animals – PMGRN Nelore Brazil. Bi-trait analyses considered P120 as anchor-trait, with P210, P450 and PE450 as another one. Model considered contemporary group of P120, P210, P450 and age-of-dam classes as fixed effects and direct maternal, additive and residual as random effects. Analyses of P120 with P450 and PE450 not included maternal effect in the model. Covariance additive-maternal was fixed at zero, as protocol in PMGRN – Nelore Brazil analysis. IPP has been analyzed separately in single-trait analysis and considering GCIPP as fixed and additive and residual effects as random. Comparisons between ranks, through the procedure PROC CORR option spearman of SAS were obtained. Estimates of heritability for P120, P210, P450, PE450 and IPP on the data of the Legal Amazon were: 0.20 to 0.49; 0.21; 0.48; 0.45; and 0.21, respectively, and in general data of PMGRN – Nelore Brazil were: 0.23; 0.25; 0.34; 0.43 and 0.11, respectively. Correlations between rank for P120, P210, P450, PE450 and IPP were equal to 0.77; 0.79; 0.82; 0.78 and 0.38, respectively. The analysis of genotype-environment interaction have demonstrated greater effects on maternal, IPP and P450, while correlations between classifications showed strong evidence in almost all traits studied.

**Keywords:** Beef cattle. Animal model. Genetic parameters. Rank correlation. Genotype-environment interaction. Heritability.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Área de abrangência da Amazônia Legal incluída a parcela do Estado do Maranhão que se situa a Oeste do meridiano 44° de Longitude Oeste.....	15
Figura 2 – Situação em que P1 e P2 representam os fenótipos das características medidas em dois ambientes.....	19
Figura 3 – Classificação de interação genótipo-ambiente segundo Pani (1971).....	22
Figura 4 – Situações possíveis na avaliação de interação genótipo-ambiente.....	23
Figura 5 – Número de anos em acasalamento dos touros presentes na base de dados da raça Nelore, na região da Amazônia Legal.....	28
Figura 6 – Número de touros por grupo contemporâneo para peso aos 450 dias (P450).	29
Figura 7 – Número de animais participantes do Programa de Melhoramento Genético da Raça Nelore – Nelore Brasil, por Estado.....	30
Figura 8 – Porcentagem de animais no Programa de Melhoramento Genético da Raça Nelore – Nelore Brasil, em relação ao rebanho efetivo estadual.....	31
Figura 9 – Número de animais participantes do Programa de Melhoramento Genético da Raça Nelore – Nelore Brasil, nos Estados da Amazônia Legal, entre 1995 e 2008.....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatística descritiva (médias, desvios-padrão e valores mínimos e máximos) por sexo e no geral das características de crescimento e reprodução de animais Nelore criados na Amazônia Legal.....	32
Tabela 2 – Estimativas dos componentes de (co)variância e dos parâmetros genéticos provenientes das análises conjuntas de duas características, entre o peso aos 120 dias de idade – P120 (variável 1) e outras características (variável 2), dos dados da Amazônia Legal.....	34
Tabela 3 – Estimativas dos componentes de (co)variância e dos parâmetros genéticos provenientes das análises conjuntas de duas características, entre o peso aos 120 dias de idade – P120 (variável 1) e outras características (variável 2), na base geral do Programa de Melhoramento Genético da Raça Nelore – Nelore Brasil.....	35
Tabela 4 – Análise em modelo de característica única para Idade ao Primeiro Parto (IPP), em animais Nelore criados na Amazônia Legal.....	37
Tabela 5 – Análise em modelo de característica única para Idade ao Primeiro Parto (IPP) e Peso aos 210 dias de idade (P210), em animais Nelore participantes do Programa de Melhoramento Genético da Raça Nelore – Nelore Brasil.....	37
Tabela 6 – Correlações entre classificações <sup>1</sup> dos animais da raça Nelore, avaliados na base geral do Programa de Melhoramento Genético da Raça Nelore – Nelore Brasil (g) e na base de registros da Amazônia Legal (a).....	38

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	11
<b>2. OBJETIVOS</b>	14
2.1.OBJETIVO GERAL	14
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b>	15
3.1.LEGISLAÇÃO SOBRE A CRIAÇÃO DA AMAZÔNIA LEGAL	15
3.2.RECURSOS CLIMÁTICOS	16
3.3.CADEIA PRODUTIVA	16
3.4.INTERAÇÃO GENÓTIPO-AMBIENTE	17
<b>3.4.1. Conceito de IGA</b>	17
<b>3.4.2. Classificação dos tipos de IGA</b>	18
3.4.2.1.Classificação de IGA segundo Falconer (1952)	18
3.4.2.2.Classificação de IGA segundo Robertson (1959)	19
3.4.2.3.Classificação de IGA segundo Dunlop (1962)	20
3.4.2.4.Classificação de IGA segundo Allard e Bradshaw (1964)	21
3.4.2.5.Classificação de IGA segundo Pani (1971)	21
3.4.2.6.Classificação de IGA segundo Bowman (1974)	22
<b>3.4.3. Metodologias para tratar a IGA</b>	23
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b>	26
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	30
<b>6. CONCLUSÃO</b>	40
<b>REFERÊNCIAS</b>	41

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil, por ser um país de dimensões continentais, possui regiões que diferem entre si em relação ao clima, à vegetação e, conseqüentemente, ao sistema de criação de bovinos. A seleção destes animais pode não ser eficiente quando se deseja utilizar os mesmos critérios de seleção em animais criados em outra região.

A maioria dos programas de melhoramento genético considera que todos os rebanhos participantes possuem as variâncias residuais e genéticas constantes, excluindo com isso, a possibilidade da interação genótipo-ambiente (IGA), implicando em predição viesada dos valores genéticos, com conseqüente redução do progresso genético (RIBEIRO, 2006).

A desconsideração da presença da IGA em um processo de seleção pode causar uma mudança de *rank* entre os reprodutores quando seus descendentes são testados em ambientes diferentes daqueles em que os mesmos tiveram um bom desempenho.

A importância da IGA vem crescendo nos últimos anos devido à globalização das criações e do melhoramento animal (KOLMODIN; BIJMA, 2004), tornando-se um fator de relevância quando se seleciona animais considerados superiores.

Uma forma simples de observação da presença da interação genótipo-ambiente ocorre nas raças bovinas especializadas em produção de leite, com elevados níveis de produção quando estão em um ambiente de clima temperado, mas quando são transferidas para ambientes de clima tropical, não apresentam o mesmo desempenho (PEREIRA, 2008).

Alguns estudos têm demonstrado a presença de alterações significativas na ordem de classificação dos animais em desempenho ou mérito genético quando estes são comparados em diferentes regiões por meio de correlações genéticas da mesma característica entre ambientes, como citado por Carneiro et al. (2006), Ferreira et al. (2001), Fikse; Rekaya; Weigel (2003), Fridrich; Silva; Fridrich (2005), Lopes et al. (2008), Nesser; Erasmus; Wyk (1998), Nephawe et al. (1999), Schoeman; Jordaan (1998) e Souza et al. (1998).

A busca de genótipos mais adequados a determinado ambiente leva pesquisadores a discutir sobre qual o melhor manejo para se testar estes animais, tendo basicamente duas linhas de pesquisas: a que defende a idéia, baseados em estudos de Lush (1945), de que os animais devem ser testados em um ambiente de condições mais limitadas, tornando a seleção mais compatível com o ambiente de exploração, ou os que defendem a idéia de Hammond (1947), de que os animais devem ser testados em ambientes de melhores condições, com boa alimentação, permitindo com isso avaliar de forma mais consistente a capacidade de resposta

dos mesmos. O primeiro caso é adequado a características de alta herdabilidade, pois há uma menor influência ambiental, originando estimativas mais seguras dos reais valores genéticos. O segundo caso é válido quando se quer testar características de baixa herdabilidade, resultantes de grandes diferenças ambientais (PEREIRA, 2008).

Segundo Cruz; Regazzi (1997), a existência da IGA está associada a dois fatores: o simples, proporcionado pela diferença de variabilidade entre genótipos nos ambientes, e o fator complexo, que indica a inconsistência da superioridade de genótipos com a variação ambiental, ou seja, haverá genótipos com desempenho superior em um ambiente, mas não em outro, tornando mais difícil a seleção e a recomendação dos mesmos.

De acordo com Falconer (1952), a correlação genética é a base da análise da IGA, pois quando uma característica é medida em dois ambientes diferentes, a mesma deve ser vista como duas características distintas. Este foi o primeiro a elucidar este conceito de correlação genética em diferentes ambientes, visando utilizar a taxa de resposta indireta (correlacionada), em relação à resposta direta, para determinar o ambiente ótimo para a seleção. Isto porque mecanismos fisiológicos são de algum modo, diferentes, consequentemente os genes exigidos para maior desempenho são também diferentes. Se a correlação genética for alta, então o desempenho em dois ambientes representará aproximadamente o mesmo caráter, determinado pelo mesmo grupo de genes. Se a correlação for baixa, o caráter será muito diferente, e o desempenho exigirá um grupo diferente de genes. Após alguns anos, Dickerson (1962) sugeriu que parte do efeito da interação do reprodutor com o rebanho se deve à heterogeneidade de variância do resíduo e/ou da genética aditiva dentro de cada rebanho. De acordo com Van Vleck (1987), se as variâncias genéticas e residuais e as covariâncias fossem conhecidas em cada rebanho ou no ambiente representado por um conjunto de rebanhos, a seleção com base nos resultados obtidos das análises de características múltiplas em modelos mistos produziria uma avaliação de qualidade, a qual poderia ser usada para selecionar otimamente touros ou vacas para produzirem em rebanhos ou em ambientes específicos. Ferreira et al. (2001), estudando os efeitos da IGA em bovinos da corte, verificaram que os valores das variâncias foram acentuadamente maiores para as características comprovadamente afetadas por esta interação.

Uma alternativa para o problema seria a quantificação dos possíveis efeitos causados pelas diferenças ambientais por meio da inclusão da IGA como fonte de variação nos modelos animais utilizados na avaliação de parâmetros genéticos. A maioria dos resultados que tem examinado registros de desenvolvimento ponderal considerando a interação reprodutor x ambiente tem envolvido análises de variância com a inclusão de componentes desta interação

no modelo (REIS; LÔBO, 1991). A inclusão da IGA, seja touro x rebanho, touro x grupo contemporâneo ou touro x ano de nascimento do bezerro, no modelo, pode ser um procedimento adequado para melhorar a ordenação dos reprodutores (ELER et al., 2000).

Baseado no fato de que a IGA pode prejudicar o progresso genético das populações de bovinos de corte pelo uso inadequado de reprodutores, é de fundamental importância a consideração desta interação nas avaliações genéticas.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Estudar a presença da IGA em rebanhos regionais de bovinos Nelore participantes de um programa de melhoramento genético.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar análises preliminares relacionadas às características de interesse econômico;
- Otimizar estimativas de parâmetros genéticos regionais para predição dos valores genéticos dos reprodutores e posterior ranqueamento para comparação;
- Observar se há mudança de *ranking* de animais criados e/ou utilizados na região da Amazônia Legal e em todas as outras regiões de abrangência do PMGRN – Nelore Brasil.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

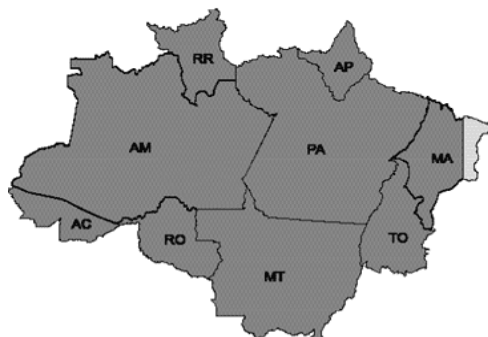
#### 3.1. LEGISLAÇÃO SOBRE A CRIAÇÃO DA AMAZÔNIA LEGAL

Em 1953, através da Lei 1.806, de 06/01/1953, a Amazônia Brasileira passou a ser chamada de Amazônia Legal, fruto de um conceito político e não de um imperativo geográfico. Em 1966, pela Lei 5.173 de 27/10/1966 (extinção do Plano de Valorização Econômica da Amazônia – SPVEA – e criação da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM) o conceito de Amazônia Legal é reinventado para fins de planejamento.

Na Lei 5.173 de 27/10/1966, no seu Art. 2º, a Amazônia para efeitos desta lei, abrange a região compreendida pelos Estados do Acre, Pará e Amazonas, pelos Territórios Federais do Amapá, Roraima e Rondônia, e ainda pelas áreas do Estado de Mato Grosso a norte do paralelo 16º, do Estado de Goiás a norte do paralelo 13º e do Estado do Maranhão a oeste do meridiano de 44º. No Art. 45 da Lei Complementar nº 31 de 11/10/1977, a Amazônia a que se refere o artigo 2º da lei nº 5.173, de 27/10/1966, compreenderá também toda a área do Estado de Mato Grosso.

Com a Constituição Federal de 05/10/1988, é criado o Estado do Tocantins e os territórios federais de Roraima e do Amapá são transformados em Estados Federados (Disposições Transitórias art. 13 e 14).

Os Estados que compõe a Amazônia Legal são: Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do Maranhão (Oeste do meridiano de 44º), e perfazendo uma superfície de aproximadamente 5.217.423 km<sup>2</sup> correspondente a cerca de 61% do território brasileiro (Figura 1).



**Figura 1.** Área de abrangência da Amazônia Legal, incluída a parcela do Estado do Maranhão que se situa a Oeste do meridiano 44º de Longitude Oeste.

Fonte: SUDAM, 2010.



### 3.2. RECURSOS CLIMÁTICOS

A Região Geomorfológica da Amazônia Legal apresenta um clima úmido, Megatérmico e Mesotérmico, tendendo para Megatérmico. Sob a influência da baixa latitude, as temperaturas mantêm-se elevadas durante todos os meses do ano e suas médias térmicas anuais são superiores a 22°C nas partes mais elevadas, setores norte e oeste, aumentando de norte para sul até 27°C, quando se aproxima do Equador, com pequena amplitude térmica anual. Devido a fatores geográficos (latitude e relevo) e a fatores dinâmicos, esta região possui altos níveis de eficiência térmica durante todo o ano, razão pela qual é caracterizada por clima Megatérmico, no setor oeste, e em parte do norte (altitude de mais de 800 m) o clima é Mesotérmico, tendendo para o Megatérmico (SUDAM, 2010).

Quanto ao regime pluviométrico, esta região é privilegiada no que diz respeito aos totais anuais, normalmente entre 1.250 mm e 2.500 mm, decrescendo de sudoeste para nordeste, estando sujeito a importantes flutuações. As chuvas, apesar de regulares, não se distribuem igualmente durante o ano, sendo o período mais chuvoso no verão, implicando grandes excedentes hídricos e, conseqüentemente, com grandes escoamentos superficiais e cheias dos rios, resultando numa curta estação seca de um a três meses com pequenos déficits hídricos (SUDAM, 2010).

Levando-se em conta o regime de umidade, ou seja, os pequenos déficits hídricos e a duração destes períodos secos, foi constatado que neste clima quente e úmido, em quase toda sua extensão, à medida que se caminha de oeste para leste, o grau de umidade efetiva diminui, determinando quatro subdomínios climáticos, B4, B3, B2 e B1. A umidade relativa do ar, média anual, situa-se entre 60% e 85%, aumentando da zona setentrional para a meridional (SUDAM, 2010).

### 3.3. CADEIA PRODUTIVA

A pecuária de corte vem crescendo tecnologicamente de forma surpreendente nos últimos anos, devido ao fato dos produtores tratarem a pecuária com gestão empresarial, informatizando e criando setores organizados dentro da cadeia produtiva, aumentando a produção por área, não necessitando com isso, aumentar a área de pastagem.

As condições climáticas do estado do Pará criam condições favoráveis para o crescimento de espécies gramíneas tropicais selecionadas e liberadas pela pesquisa, permitindo a implantação de pastagens de alta produtividade e de boa qualidade. Tudo isso, aliado ao trabalho de melhoramento genético com as raças zebuínas, principalmente a Nelore, aos avanços em nutrição, manejo e, mais recentemente, em conforto animal, permitem a obtenção de índices de produtividade semelhantes aos das raças especializadas européias (HOMMA et al., 2006).

Segundo o IBGE (2010), o Brasil conta com 172.613.337 de cabeças de bovinos, sendo a Amazônia Legal responsável por 54.563.142 (31,6%). Por isso esta região do país é tão importante para a pecuária nacional, pois envolve boa parte do mercado.

A cadeia produtiva da carne bovina no Brasil pode ser subdividida em cinco subsistemas: subsistema de apoio, representado pelo produtor de insumos, sendo esse subsistema restrito e bem organizado; subsistema de produção da matéria-prima onde está inserido o produtor rural, um elo frágil e desorganizado da cadeia, submetido à imposição de preço de seus produtos por parte dos outros subsistemas; subsistema de industrialização; subsistema de comercialização formado pelo comércio atacadista ou exportador, varejista e empresas de alimentação coletiva; e por fim o subsistema de consumo, o consumidor final (informação verbal)<sup>1</sup>.

### 3.4. INTERAÇÃO GENÓTIPO-AMBIENTE

#### 3.4.1. Conceito de IGA

A IGA consiste em uma mudança de desempenho relativo de um caráter de dois ou mais genótipos medidos em dois ou mais ambientes. Tais mudanças podem ocorrer na ordem do posto (*rank*) dos genótipos entre ambientes, como também na magnitude das variâncias genéticas, ambiental e fenotípica entre os ambientes (BOWMAN, 1974).

---

<sup>1</sup> Informação fornecida pelo Prof. Emerson Alexandrino em aula sobre Cadeia Produtiva da Carne na Especialização em Gado de Corte da Universidade Federal do Tocantins, em maio de 2010.

Para Reis; Lôbo (1991), pode-se afirmar que existe IGA quando diferenças fenotípicas entre genótipos variam de ambiente para ambiente; por exemplo, quando alguns genótipos são superiores em alguns ambientes e outros genótipos são superiores em outros.

Uma definição é a de Hackney (1982), onde o fenótipo dos indivíduos pode ser entendido como sendo o resultado emergente da interação entre o genótipo desse indivíduo e o ambiente no qual ele vive. Tais interações podem ser aditivas ou não aditivas, ou seja, lineares ou não lineares. As interações não lineares entre esses dois fatores, onde seu isolamento perturba o próprio efeito, denominam-se IGA. Assim, quando se comparam genótipos em diferentes ambientes, as interações podem ser significativas ou não, dependendo da magnitude das diferenças entre os fatores.

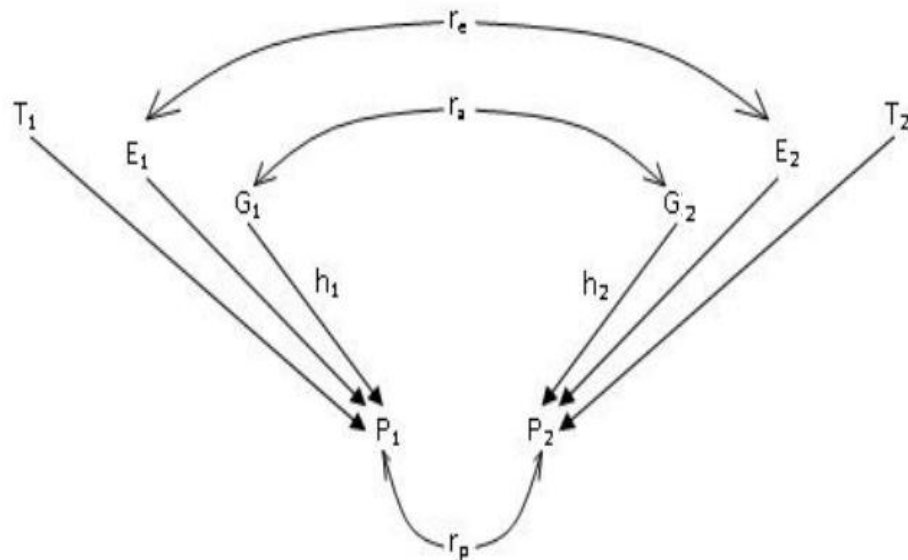
### **3.4.2. Classificação dos tipos de IGA**

Segundo Lopes et al. (2008), há na literatura diversas definições para IGA, todavia todas comparam o desempenho de dois ou mais genótipos em pelo menos dois ambientes diferentes (DUNLOP, 1962; HALDANE, 1946; MCBRIDE, 1958; PANI, 1971; VAN VLECK, 1963; VAN VLECK; KING; DOLITTLE, 1962).

Haldane (1946) sugeriu que a IGA pode ser demonstrada de várias formas, e que, independentemente de sua natureza, quando existe, corresponde a um componente de variância, cuja importância poderá ser avaliada mediante metodologias adequadas.

#### **3.4.2.1. Classificação de IGA segundo Falconer**

Tomando-se como exemplo uma ilustração de Falconer (1952), em que dois fenótipos, 1 e 2, cujas características fenotípicas são medidas em dois ambientes, pode haver três fontes de variação afetando cada um dos dois fenótipos: por exemplo, ganho de peso em níveis alto e baixo de nutrição – representado por T1 e T2, respectivamente, os dois genótipos, G1 e G2, e diferenças ambientais não associadas aos dois tratamentos, E1 e E2 (Figura 2).



**Figura 2.** Situação em que 1 e 2 representam os fenótipos das características medidas em dois ambientes.

Fonte: Falconer, 1952.

Os dois fenótipos são correlacionados por meio de seus componentes genéticos ( $G_1$  e  $G_2$ ) e ambientais ( $E_1$  e  $E_2$ ). Os dois genótipos  $G_1$  e  $G_2$  são conectados pela correlação genética ( $r_g$ ). As raízes quadradas das herdabilidades ( $h_1$  e  $h_2$ ) representam a correlação entre o genótipo e o fenótipo dos indivíduos.

#### 3.4.2.2. Classificação de IGA segundo Robertson

De acordo com estudos de Robertson (1959) há dois tipos de interação:

- **Interação simples:** Proporcionada pela diferença de variabilidade entre os genótipos nos ambientes, de forma de que a posição relativa dos genótipos não é alterada, levando os melhores genótipos de um ambiente, também o serem em outros.

- **Interação complexa:** Ocorre pela falta de correlação entre os desempenhos dos genótipos, de modo que estes apresentam diferentes respostas às variações ambientais, causando alteração na sua classificação, considerando os diversos ambientes.

A fórmula utilizada para o cálculo da correlação genética para dois ambientes, proposta por esse autor, é a seguinte:

$$R_g = (\sigma^2_G - \sigma^2_{GA}) / (\sigma^2_G + \sigma^2_{GA} - 2 \sigma^2_E)$$

em que:

$\sigma^2_G$  = variância genética aditiva;

$\sigma^2_{GA}$  = variância da IGA;

$\sigma^2_E$  = variância do erro amostral.

#### 3.4.2.3. Classificação de IGA segundo Dunlop

Outra forma de classificação é de acordo com a magnitude das diferenças entre genótipos e ambientes. Dunlop (1962) propôs quatro tipos de interações:

- **Interação tipo I:** É verificada quando ocorre transferência de um grupo de indivíduos para um ambiente desfavorável, ocasionando relativa alteração na expressão de determinada característica. Há pequenas diferenças genéticas e ambientais.

- **Interação tipo II:** Ocorre quando diversas raças são criadas dentro de uma mesma área, com pequenas diferenças ambientais. Em ambas, a comprovação experimental é de difícil realização. Há grandes diferenças genéticas e pequenas diferenças ambientais.

- **Interação tipo III:** É aquela em que o grupo de reprodutores selecionados em condições ambientais extremamente favoráveis é distribuído em ambientes contrastantes. Há pequenas diferenças genéticas e grandes diferenças ambientais.

- **Interação tipo IV:** É aquela que permite as melhores condições para a quantificação das magnitudes das IGAs. Há grandes diferenças genéticas e ambientais.

#### 3.4.2.4. Classificação de IGA segundo Allard e Bradshaw

A classificação segundo Allard; Bradshaw (1964) é que a resposta relativa dos genótipos em relação à variação dos ambientes é definida em dois tipos:

- **Interação previsível:** Todos os fatores permanentes do ambiente são levados em consideração, como as características gerais do clima e do tipo do solo, as características do ambiente que variam de uma maneira sistemática, e os aspectos do ambiente que são determinados pelo homem.

- **Interação imprevisível:** Inclui as flutuações variáveis do ambiente. Os autores afirmaram que as causas genéticas da IGA eram pouco conhecidas e que, diante de sua presença, não há um consenso quanto ao que deveria ser feito em relação a ela.

#### 3.4.2.5. Classificação de IGA segundo Pani

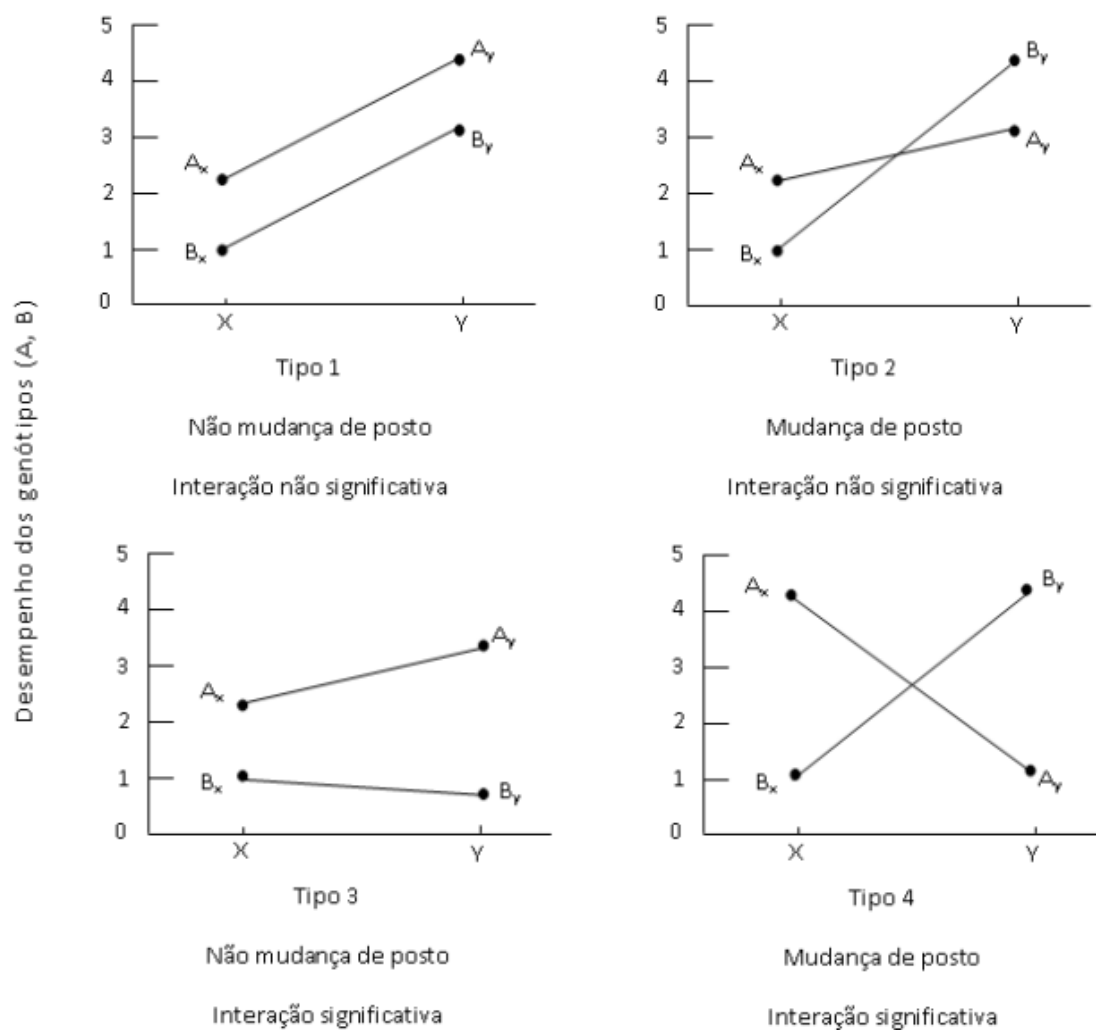
Segundo Pani (1971) citado por Reis; Lôbo (1991), as IGA podem ser classificadas em quatro tipos (Figura 3):

- **Tipo I:** Inexistência de interação, pois os genótipos se comportam de forma similar, apesar das diferenças entre os ambientes.

- **Tipo II:** Existência de interação, porém não significativa, pois há uma pequena inversão na ordem de classificação (*rank*) dos genótipos nos ambientes diferentes.

- **Tipo III:** Existência de interação, pois o desempenho dos genótipos apresenta grandes diferenças nos ambientes diversos, apesar de não haver inversão na ordem de classificação (*rank*) dos genótipos.

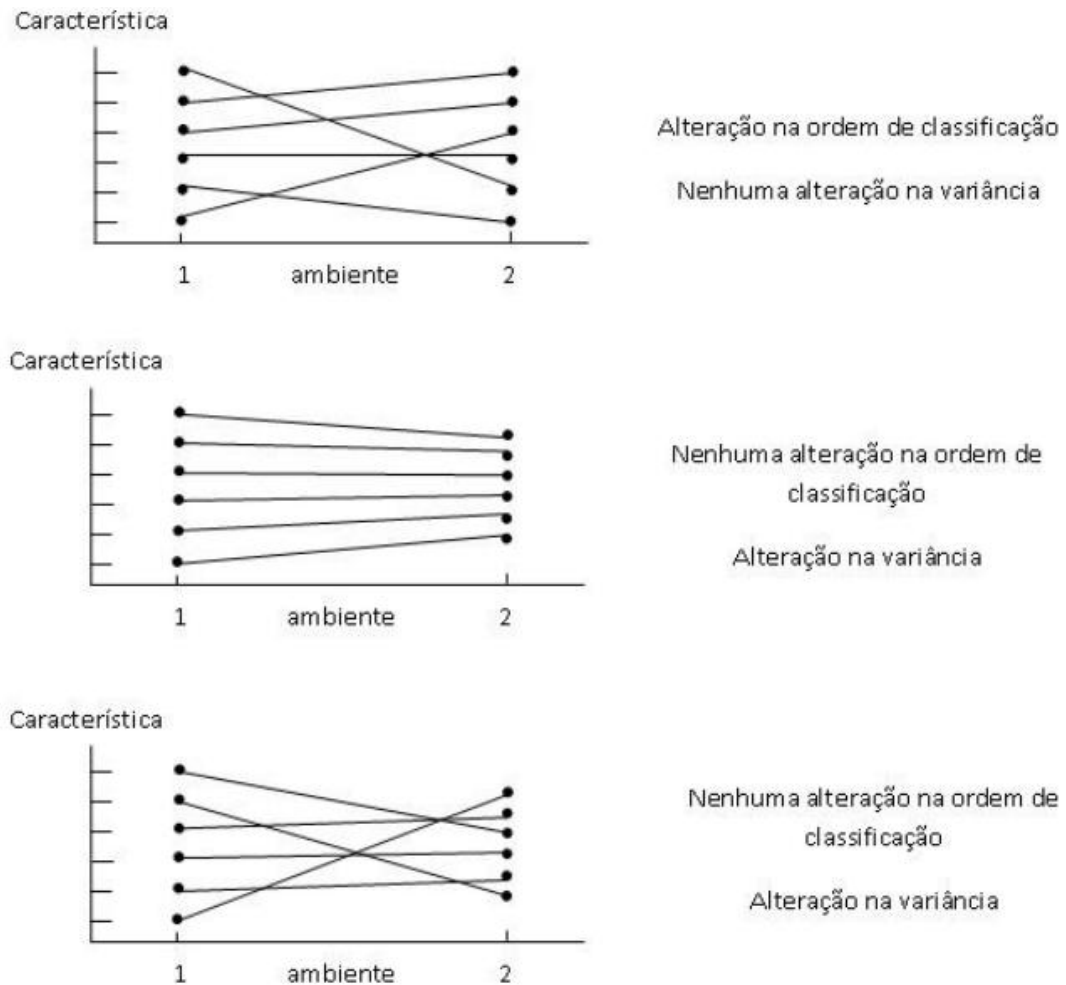
- **Tipo IV:** Existência de interação, pois se observa importante inversão na ordem de classificação (*rank*) dos genótipos nos ambientes diferentes.



**Figura 3.** Classificação de IGA segundo Pani (1971).  
Fonte: Pani (1971 apud REIS; LÔBO 1991).

#### 3.4.2.6. Classificação de IGA segundo Bowman

Bowman (1974) definiu graficamente as diferentes situações possíveis na avaliação da IGA, como os gráficos presentes na Figura 4.



**Figura 4.** Situações possíveis na avaliação de interação genótipo-ambiente, segundo Bowman (1947).

Fonte: Bowman (1974).

### 3.4.3. Metodologias para tratar a Interação Genótipo-Ambiente

Em seu livro intitulado “Interação genótipo x ambiente nos animais domésticos”, Reis; Lôbo (1991) citaram diferentes métodos para detectar a presença de IGA: posto dos genótipos em cada ambiente, diferenças na resposta de cada um dos genótipos em dois ambientes, regressão de medidas de um caráter para cada genótipo em diferentes ambientes, comparação ortogonal de subclasses, análise de variância em experimento fatorial, análise de variância e covariância, seleção em dois ambientes, diferenças na magnitude da estimativa de herdabilidade e experimentos com gêmeos idênticos. Metodologias mais recentes, no entanto, têm sido preconizadas no estudo da IGA: análise Bayesiana, modelos de regressão aleatória e normas de reação ao ambiente. Esta última, no entanto, já era comentada por Johansson;



Rendel (1972). Segundo esses autores, ainda que em muitos casos a alimentação dos animais tenha maior efeito sobre a qualidade de seus produtos, é a herança que determina a norma de reação.

A IGA pode ser detectada pela estimação de componentes de variância, comparando-se modelos que incluam ou não o efeito de interação (BANOS; SHOOK, 1990; DIMOV et al., 1995), ou ainda pela comparação entre as classificações dos animais, caso sejam significativas, de acordo com os valores genéticos preditos, por meio dos vários modelos existentes (BASU; CHATTARAJI, 1988; MOHAMMAD; LEE; GROSSMAN, 1982).

Fikse; Rekaya; Weigel (2003), trabalhando com dados de gado leiteiro da raça Guernsey dos Estados Unidos, África do Sul e Canadá, avaliaram o efeito de IGA na produção. Foram utilizados cinco modelos, sendo um modelo de característica única entre países com variância heterogênea, um modelo de multicaracterística entre países, um modelo multicaracterística entre países e um modelo de norma de reação. O trabalho observou grande heterogeneidade de variância entre os países, de modo que os modelos de melhor avaliação foram o modelo de característica única entre países com variância heterogênea e o modelo de multicaracterística entre países.

Análises bicaracterística tratam a expressão fenotípica em vários ambientes com características distintas. Neste caso, existem duas formas de detecção da IGA: uma quando a correlação genética para a mesma característica avaliada em dois ambientes é significativamente baixa, sugerindo que a classificação dos animais com base nos valores genéticos preditos para cada ambiente pode não ser a mesma; outra, quando a correlação genética é alta, mas a magnitude das diferenças entre os valores genéticos dos animais é diferente entre ambientes, sendo a heterogeneidade de variâncias indicada como a causa desta forma de IGA (BALIEIRO, 2001; BUENO et al., 2004).

Análises dos componentes de (co)variância permitem avaliar a IGA por meio de duas estratégias: se a correlação genética for alta, o desempenho em diferentes ambientes representará, aproximadamente, o mesmo caráter, pois é determinado pelo mesmo grupo de genes; se a correlação genética for baixa, as características são consideradas diferentes e o desempenho dependerá de grupos diferentes de genes. Essa mudança de desempenho pode ser menos evidente quando a seleção é consideravelmente alta (FALCONER, 1952).

Os modelos propostos por De Jong e Bijma (2002) usam a metodologia da genética quantitativa e da biologia evolucionária. Os autores descrevem três modelos de seleção: o primeiro, denominado de “character state model” é baseado no modelo de múltiplos caracteres da genética quantitativa; o segundo, denominado de “modelo infinito-dimensional”, é baseado

no modelo de função de covariância; e, por último, o “modelo de norma de reação”, relativo ao modelo de regressão aleatória usado em melhoramento animal. O segundo método é uma transição entre os dois extremos, mostrando que eles são de certa forma intercambiáveis como qualquer outra característica fenotípica.

Os trabalhos mais recentes têm empregado outras metodologias para a avaliação da IGA. Alguns pesquisadores utilizam análise Bayesiana (FALCÃO et al., 2006; SIMONELLI, 2004), e outros fazem uso de modelos de regressão aleatória e normas de reação ao ambiente (CALUS; BIJMA; VEERKAMP, 2004; KOLMODIN et al., 2002; PÉGOLO, 2005).

Com a análise Bayesiana têm-se, na realidade, dois interesses: estimação de parâmetros genéticos e teste de hipóteses, nesse caso, somente duas hipóteses são testadas por vez e, em geral, rejeita-se  $H_0$  quando ela é falsa. Vem sendo utilizada por muitos autores na estimação dos componentes genéticos via amostrador de Gibbs para avaliar a IGA, estimada pela correlação genética obtida por esse método.

Os modelos de regressão aleatória são descritos por Albuquerque (2004), Kirkpatrick; Heckman (1989), Kirkpatrick; Lovesfold; Bulmer (1990), Meyer (1998), e Schaeffer (2004) como aplicáveis ao estudo de IGA. Os autores descrevem possibilidades de regressão da mensuração de uma característica numa variável ambiental, gerando uma norma de reação, bem como o uso de regressão aleatória e das funções de covariância como modelos para estimação de parâmetros de (co)variância.

A norma de reação descreve o fenótipo expresso por um genótipo como função do ambiente. Segundo Jong (1995), as normas de reação são úteis quando os fenótipos mudam gradual e continuamente sob um gradiente ambiental. A sensibilidade do mesmo genótipo em diferentes ambientes pode ser quantificada pela regressão do genótipo em cada ambiente, em relação ao gradiente de ambiente. O desempenho do genótipo é, então, regredido em relação à média do desempenho populacional em cada ambiente.

Pégolo (2005), com o objetivo de dimensionar os efeitos de IGA em rebanhos bovinos na característica de peso e crescimento em diferentes estágios de desenvolvimento, definiu as normas de reação como um modelo de sensibilidade ambiental que permita a seleção para robustez dos animais às diferenças de ambiente.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

O arquivo de dados analisado consistia em 211.744 registros de animais da raça Nelore, participantes do Programa de Melhoramento Genético da Raça Nelore (PMGRN – Nelore Brasil), nascidos no período de 1995 e 2008, criados em regime de pasto e distribuídos em 44 rebanhos localizados nos seguintes Estados: Acre (AC), Maranhão (MA), Mato Grosso (MT), Pará (PA), Rondônia (RO) e Tocantins (TO). Todos os animais foram monitorados do nascimento aos 21 meses de idade e as matrizes também pesadas ao parto, na desmama dos seus produtos e nos meses de abril e outubro de cada ano.

O clima das fazendas participantes do Programa é característico da região Amazônica brasileira, caracterizado por duas estações, sendo uma seca (maio a setembro) e outra chuvosa (outubro a abril), com regime pluviométrico médio anual, normalmente entre 1.250 mm e 2.500 mm, decrescendo de sudoeste para nordeste, estando sujeito a importantes flutuações. Sob a influência da baixa latitude, as temperaturas mantêm-se elevadas durante todos os meses do ano e suas médias térmicas anuais são superiores a 22° C nas partes mais elevadas, setores norte e oeste, aumentando de norte para sul até 27° C, quando se aproxima do Equador, com pequena amplitude térmica anual. Devido a fatores geográficos (latitude e relevo) e a fatores dinâmicos, esta região possui altos níveis de eficiência térmica durante todo o ano, razão pela qual é caracterizada por clima Megatérmico, no setor oeste, e em parte do norte (altitude de mais de 800 m) o clima é Mesotérmico, tendendo para o Megatérmico. A umidade relativa do ar, média anual, situa-se entre 60% e 85%, aumentando da zona setentrional para a meridional (SUDAM, 2010).

O PMGRN – Nelore Brasil padroniza os pesos à determinada idade-padrão (120 dias, 205 dias, 365 dias, 450 dias ou 550 dias), necessitando-se para isso que cada animal tenha uma pesagem anterior e uma pesagem posterior a esta data. A seguinte fórmula foi utilizada para a obtenção do peso à idade-padrão:  $\text{Peso à idade-padrão} = Pa + (\text{GMD} \times da)$ , em que Pa é peso anterior à idade-padrão, GMD é o ganho de peso médio diário e da são os dias compreendidos entre a pesagem anterior e a idade-padrão.

Cada animal possui uma identificação única e permanente, com registro dos pais, número da fazenda de origem (NFO) e atual (NFA), Estado (UF), sexo (SX), ano (ANO) e mês (MÊS) de nascimento, classe de idade da vaca ao parto (CIVP), peso padronizado aos 120, 210 e 450 dias (P120, P210 e P450), perímetro escrotal padronizado aos 450 dias (PE450), idade ao primeiro parto (IPP), lote aos 120, 210 e 450 dias (LOTE120, LOTE210 e

LOTE450), grupo contemporâneo (GC) aos 120, 210 e 450 dias (GC120, GC210 e GC450) e grupo contemporâneo para IPP (GCIPP).

Tabelas e gráficos foram construídos com o aplicativo Microsoft Excel (EXCEL, 2010). A consistência dos dados, as análises descritivas e de correlação de *rank* foram realizadas utilizando-se o *software* Statistical Analysis System (SAS Institute, 2002). Medidas iguais a zero ou acima/abaixo de três desvios-padrão não foram utilizadas nas análises, bem como grupos de contemporâneos (GC450) com menos de sete animais.

Os componentes de (co)variância atribuídos a cada efeito aleatório foram estimados por intermédio do programa MTDFREML (BOLDMAN, 1995). As análises bi-característica consideraram o P120 como característica-âncora, com P210, P450 e PE450. A característica IPP foi analisada separadamente, em análise de característica única e considerando como efeito fixo o GCIPP e como aleatórios os efeitos aditivos genéticos e residual. O modelo animal utilizado na análise conjunta de P120 e P210 considerou, além dos efeitos fixos de grupo contemporâneo (GC120 e GC210, respectivamente) e de CIVP, os efeitos aleatórios genéticos aditivos, maternos e residuais. Nas análises de P120 com P450 e com PE450 foi desconsiderado o efeito materno no modelo. Não foi considerado na análise para as características pré-desmama o efeito de ambiente permanente da vaca, pois a média de progênie/vaca foi inferior a dois. A covariância aditivo-materna foi fixada em zero, conforme protocolo estabelecido nas análises do PMGRN – Nelore Brasil.

Em termos matriciais, os modelos com e sem efeito materno pode ser descritos como:

$$y = Xb + Z1a + Z2m + e$$

em que,  $y$  = vetor de observações;  $b$  = vetor dos efeitos fixos;  $a$  = vetor de efeitos genéticos aditivo direto;  $m$  = vetor dos efeitos genéticos aditivo materno (presente somente nas análises de P120 e P210);  $e$  = vetor dos erros aleatórios residuais associados às observações.  $X$ ,  $Z1$  e  $Z2$  são matrizes de incidência relacionando  $b$ ,  $a$  e  $m$  a  $y$ .

$$y = Xb + Z1a + e$$

em que,  $y$  = vetor de observações;  $b$  = vetor dos efeitos fixos;  $a$  = vetor de efeitos genéticos aditivos direto e  $e$  = vetor dos erros aleatórios residuais associados às observações.  $X$  e  $Z1$  são matrizes de incidência relacionando  $b$  e  $a$  a  $y$ .

As pressuposições assumidas pelos modelos foram:  $E(y) = Xb$ ;  $E(a) = 0$ ;  $E(m) = 0$ ;  $Va(a) = A\sigma^2a$ ;  $Va(m) = A\sigma^2m$ ;  $Va(e) = I_n\sigma^2e$ , em que  $A$  é a matriz de parentesco,  $\sigma^2a$  é a variância genética aditiva,  $\sigma^2e$  é a variância residual e  $I$  é uma matriz Identidade de ordem  $r$  por  $r$ .

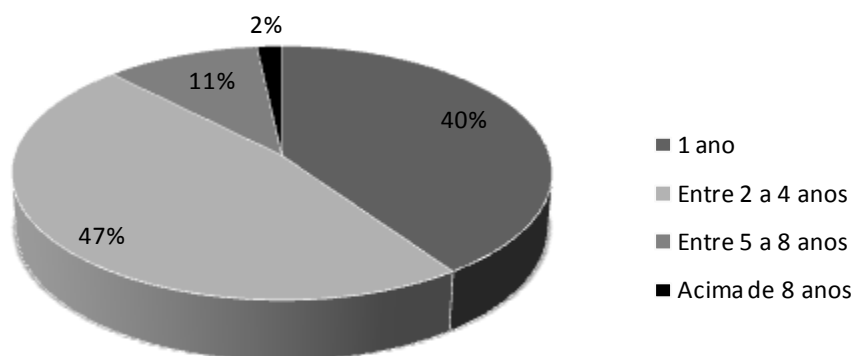
O critério de convergência utilizado, definido pelo quadrado médio das diferenças entre soluções consecutivas, foi de  $1 \times 10^{-9}$ , com diferença entre análises sucessivas na quarta casa do  $-2\text{LogL}$ .

A matriz de parentesco continha 73.272 animais.

As Diferenças Esperadas na Progenie (DEPs) dos animais foram obtidas por meio da saída MTDF78, a qual contém as soluções para cada animal. Dividindo-se a solução (Valor Genético) por dois, obtém-se a DEP, para cada característica.

As DEPs da base geral de dados do PMGRN – Nelore Brasil, para os 73.272 animais, foram solicitadas à Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores – ANCP, para realizar a comparação entre classificações, por meio do procedimento PROC CORR opção spearman do SAS.

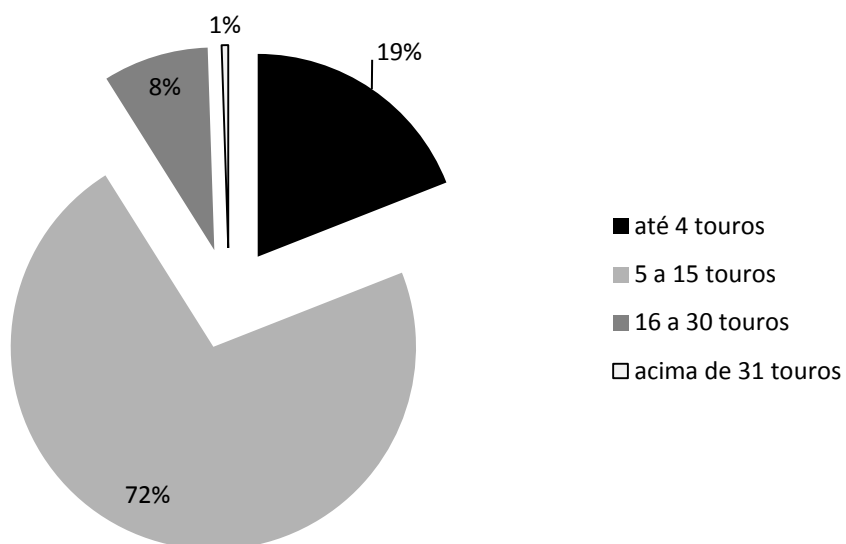
O arquivo de dados inicial continha 1328 touros com média de 16 progênies/touro. Na Figura 5 encontra-se a distribuição dos touros por ano em acasalamento. Observa-se que o maior percentual (87%) dos touros foi utilizado por até 4 anos. Segundo Nogueira et al., 2011, touros Nelore a partir de 108 meses podem apresentar diminuição do perímetro escrotal, evidenciando perda do parênquima testicular devido a efeitos da senilidade e longa exposição ao ambiente.



**Figura 5.** Número de anos em acasalamento dos touros presentes na base de dados da raça Nelore, na região da Amazônia Legal.

O número de touros por grupo contemporâneo teve em sua maioria 5 a 15 touros (Figura 6), sendo que quanto maior o tamanho do grupo, maior será a acurácia das predições

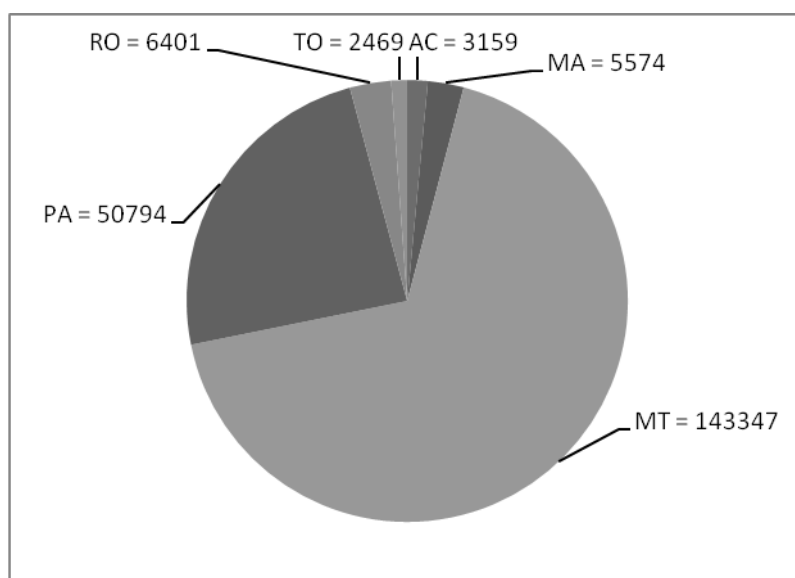
das DEPs. Isto está relacionado com o conceito de amostragem de população, em estatística. Ou seja, quanto maior a amostra tomada ao acaso de uma população, maior será a representatividade dos parâmetros estimados para tal população (OLIVEIRA, 1995).



**Figura 6.** Número de touros por grupo contemporâneo para peso aos 450 dias (P450).

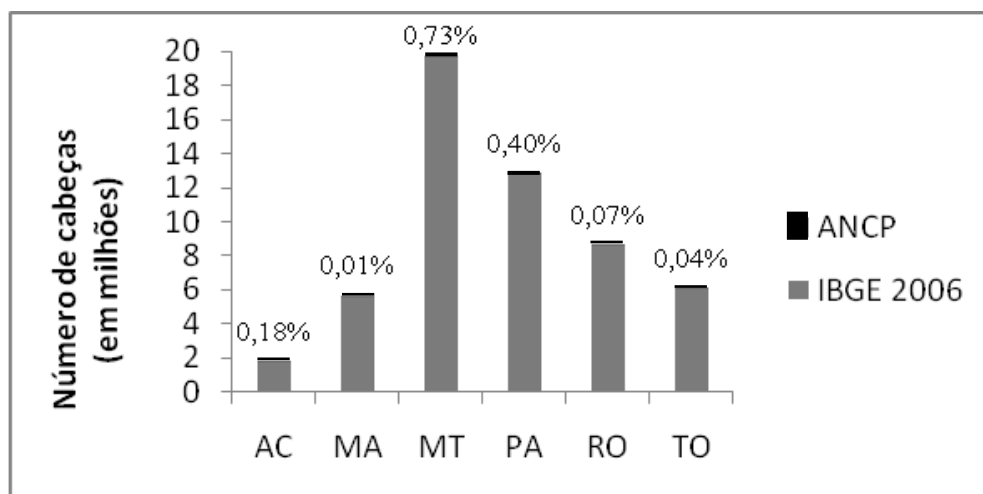
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Estados considerados no estudo correspondem a 32,1% do rebanho bovino nacional, sendo importantes cooperadores da economia brasileira. A Figura 7 apresenta o número de animais participantes do PMGRN – Nelore Brasil, por Estado. Observa-se o maior número de animais controlados no MT (11% do total de animais participantes do PMGRN – Nelore Brasil) com 23 fazendas, seguido pelo PA com 3,9% do total de animais participantes do PMGRN – Nelore Brasil e 13 fazendas. Em termos de efetivo, o MT e o PA possuem, respectivamente, 11,5% e 7,5% do rebanho nacional (IBGE, 2010).



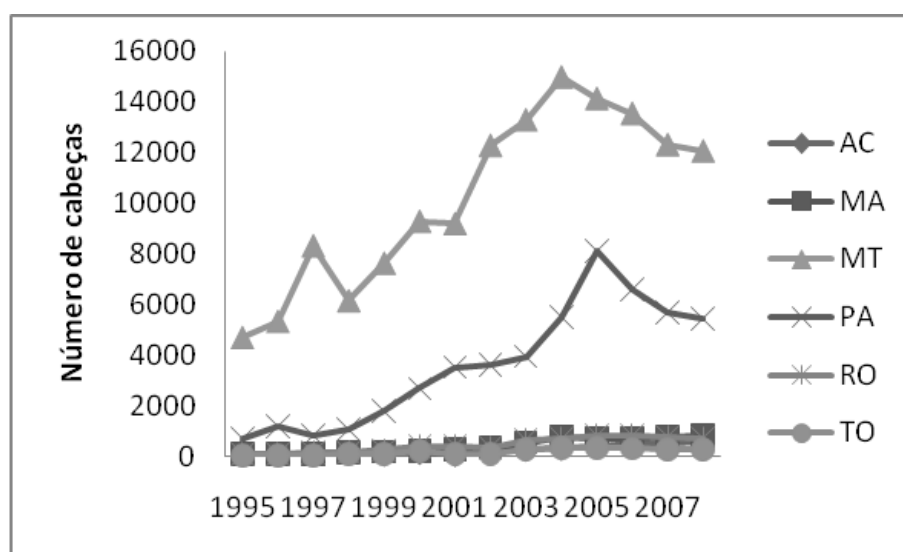
**Figura 7.** Número de animais participantes do PMGRN – Nelore Brasil, por Estado.

Apesar do grande efetivo, a Figura 8 mostra que o percentual de animais participantes em um programa de melhoramento genético ainda é pequeno, sendo maior nos Estados em que a pecuária é a principal atividade, como o MT (143.347 de 19.582.504 animais) e o PA (50.794 de 12.807.706 animais).



**Figura 8.** Porcentagem de animais no PMGRN – Nelore Brasil, em relação ao rebanho efetivo estadual.

Apesar da reduzida participação, a Figura 9 mostra a tendência do aumento no número de animais participantes, especialmente nos Estados de MT e PA. Este fato pode relacionar-se com a expansão de fronteiras, resultando na ida de criadores mais tecnificados do Sul e Sudeste para áreas como o Sul do PA e Norte do MT. Com isso abriu-se um nicho de mercado para animais testados a serem utilizados nos rebanhos comerciais da região. A maior proporção de fêmeas no arquivo (55%) pode ser explicada pelo maior número de fazendas multiplicadoras e comerciais na região estudada, bem como o enfoque recente na seleção de fêmeas para aplicação de biotécnicas reprodutivas, como a transferência de embriões.



**Figura 9.** Número de animais participantes do PMGRN – Nelore Brasil, nos Estados da Amazônia Legal, entre 1995 e 2008.



A distribuição do número de animais, das médias de cada característica e seu respectivo desvio-padrão encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Estatística descritiva (médias, desvios-padrão e valores mínimos e máximos) por sexo e no geral das características de crescimento e reprodução de animais Nelore criados na Amazônia Legal.

Característica		N	Média	D-P	Mínimo	Máximo
P120 (kg)	*Geral	94822	123	19,0	46	227
	M	47463	127	18,8	66	180
	F	46932	119	17,3	66	180
P210 (kg)	Geral	88176	180	28,1	70	359
	M	44195	187	27,6	95	264
	F	43592	172	25,1	95	264
P450 (kg)	Geral	63580	262	45,5	110	612
	M	31589	279	47,3	111	612
	F	31375	245	36,3	110	528
PE450 (mm)	M	23901	227	28,4	140	315
IPP (meses)	F	38376	37	4,7	23	49

N = número de animais; D-P = Desvio-padrão; P120 = Peso aos 120 dias de idade; P210 = Peso aos 210 dias de idade; P450 = Peso aos 450 dias de idade; PE450 = perímetro escrotal aos 450 dias; IPP = idade ao primeiro parto; M = machos; F = fêmeas. \*Geral refere-se às médias antes da consistência dos dados.

As médias fenotípicas das características consideradas no estudo, pertencentes a animais da Amazônia Legal, encontram-se próximas à média geral do PMGRN – Nelore Brasil.

A média geral para P120 foi de  $123 \pm 19,0$  kg, resultado similar ao encontrado por Ferreira et al. (2001) em fazendas de Minas Gerais ( $126 \pm 25,41$  kg) e por Garnero et al. (2010) utilizando dados de animais da raça Nelore do Brasil. Resultado também similar à média do PMGRN – Nelore Brasil, de 125 kg (LÔBO et al., 2011).

A média para P210 foi de  $180 \pm 28,1$  kg, superior a encontrada por Fridrich et al. (2008) de  $167,20 \pm 24,6$  kg utilizando dados da mesma raça na região Norte, por Lopes et al. (2008) com  $166,67 \pm 30,94$  kg para peso aos 205 dias de idade em animais da mesma raça na região Sul do Brasil, e por Cubas; Perotto; Abrahão (2001) no Estado do Paraná com 141,30 kg. Porém, inferior a relatada por Ferreira et al. (2001) para o Estado de Minas Gerais ( $189,38 \pm 28,25$ ), em machos também com a mesma raça, fato este que pode ser explicado por uma seleção mais intensa nesta região do Brasil. A média de peso para P210 foi similar à

encontrada por Ribeiro et al. (2009) em animais da raça Nelore criados na região do Mato Grosso do Sul ( $181,24 \pm 22,41$  kg).

O P450 teve média de  $262 \pm 45,5$  kg, resultado inferior ao encontrado por Garnero et al. (2010) de 452 kg analisando dados de animais da raça Nelore em todo o Brasil. Fridrich et al. (2008), utilizando arquivo de pesos de animais da raça Nelore aos 365 dias de idade em várias regiões do Brasil, encontraram resultados que variaram de  $211,77 \pm 33,3$  kg na região Sul a  $227,88 \pm 39,9$  kg na região Nordeste, tendo a região Norte atingido uma média de  $215,25 \pm 34,7$  kg.

Nas características de peso, observaram-se maiores médias dos machos em relação às fêmeas, sendo estas 6,72%, 8,72% e 13,87% inferiores para P120, P210 e P450, respectivamente. Resultado semelhante ao encontrado por Toral et al. (2004) em bovinos Nelore do Mato Grosso do Sul, em que as fêmeas foram inferiores aos machos, em média, 8% para peso aos 205 dias, 11% para peso aos 365 dias e 13% para peso aos 550 dias de idade. Este resultado pode ser explicado por Sakaguti et al. (2001), que ao constatarem comportamento similar em bovinos da raça Tabapuã, informaram que o aumento das diferenças entre pesos corporais de machos e fêmeas se deve a diferença da taxa de crescimento dos dois sexos, provavelmente relacionado às diferenças fisiológicas e hormonais, que se intensificam a medida que o animal atinge a puberdade e inicia a sua vida sexual.

O perímetro escrotal calculado aos 450 dias de idade é um parâmetro de fácil avaliação, e possui uma alta correlação genética com características de crescimento como peso e características de reprodução como produção de sêmen e fertilidade, inclusive das fêmeas filhas de touros provados. A média desta característica foi de  $22,7 \pm 2,84$  cm, resultado semelhante à média do PMGRN – Nelore Brasil de 23 cm (LÔBO et al., 2011).

A idade ao primeiro parto é uma característica que pode promover uma diminuição no intervalo de gerações possibilitando maior intensidade de seleção nas fêmeas. Outra vantagem é a redução de categorias animais em desenvolvimento dentro da fazenda, com consequência no aumento da taxa de desfrute do rebanho. A média desta característica neste estudo foi de  $37 \pm 4,7$  meses, valor este semelhante ao encontrado na média do PMGRN – Nelore Brasil de 37 meses (LÔBO et al., 2011).

As estimativas dos componentes de (co)variância e dos parâmetros genéticos das análises entre o P120 e as outras características de peso dos dados da Amazônia Legal e na base geral do PMGRN – Nelore Brasil estão descritos nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

**Tabela 2.** Estimativas dos componentes de (co)variância e dos parâmetros genéticos provenientes das análises conjuntas de duas características, entre o peso aos 120 dias de idade – P120 (variável 1) e outras características (variável 2), dos dados da Amazônia Legal.

Parâmetro genético*	Peso aos 120 dias de idade (P120) – (1)		
	P210 (2)	P450 (2)	PE450 (2)
$\sigma^2_{A1}$	34,14	88,74	42,95
$\sigma_{A1,2}$	45,99	145,82	42,19
$\sigma^2_{A2}$	73,91	287,75	200,40
$\sigma^2_{E1}$	93,64	79,00	90,68
$\sigma_{E1,2}$	99,51	66,25	36,13
$\sigma^2_{E2}$	178,25	316,41	248,37
$\sigma^2_{P1}$	174,54	182,76	174,06
$\sigma_{P1,2}$	211,30	212,06	78,32
$\sigma^2_{P2}$	345,98	604,16	448,77
$h^2_{d1}$	0,20	0,49	0,25
$h^2_{d2}$	0,21	0,48	0,45
$h^2_{m1}$	0,27	0,08	0,23
$h^2_{m2}$	0,27	-	-
$r_A$	0,92	0,91	0,45
$e^2_1$	0,54	0,43	0,52
$e^2_2$	0,52	0,52	0,55

P210 = peso aos 210 dias de idade (kg); P450 = peso aos 450 dias de idade (kg); PE450 = perímetro escrotal aos 450 dias de idade (mm).

\*  $\sigma_{Ai,j}$  = (co)variância genética aditiva;  $\sigma_{Ei,j}$  = (co)variância residual;  $\sigma_{Pi,j}$  = (co)variância fenotípica;  $h^2_{di}$  = herdabilidade direta;  $h^2_{mi}$  = herdabilidade materna;  $r_A$  = correlação genética;  $e^2_i$  = fração da variância fenotípica devida ao efeito de ambiente temporário. Para as variâncias,  $i = j$ ; para as covariâncias  $i \neq j$ ;  $i, j = 1, 2$ .

**Tabela 3.** Estimativas dos componentes de (co)variância e dos parâmetros genéticos provenientes das análises conjuntas de duas características, entre o peso aos 120 dias de idade – P120 (variável 1) e outras características (variável 2), na base geral do PMGRN – Nelore Brasil.

Parâmetro genético*	Peso aos 120 dias de idade (P120) – (1)	
	P450 (2)	PE450 (2)
$\sigma^2_{A1}$	42,37	42,37
$\sigma_{A1,2}$	79,08	2,89
$\sigma^2_{A2}$	217,16	2,16
$\sigma^2_{m1}$	19,29	19,29
$\sigma_{m1,m2}$	-	-
$\sigma^2_{m2}$	-	-
$\sigma^2_{E1}$	91,40	91,40
$\sigma_{E1,2}$	84,05	3,77
$\sigma^2_{E2}$	361,20	2,61
$h^2_{d1}$	0,23	0,23
$h^2_{d2}$	0,34	0,43
$h^2_{m1}$	0,11	0,11
$h^2_{m2}$	-	-
$r_A$	0,82	0,30

P450 = peso aos 450 dias de idade (kg); PE450 = perímetro escrotal aos 450 dias de idade (cm).

\*  $\sigma_{Ai,j}$  = (co)variância genética aditiva;  $\sigma_{Ei,j}$  = (co)variância residual;  $h^2_{di}$  = herdabilidade direta;  $h^2_{mi}$  = herdabilidade materna;  $r_A$  = correlação genética. Para as variâncias,  $i = j$ ; para as covariâncias  $i \neq j$ ;  $i, j = 1, 2$ .

Fonte: Bezerra, L.A.F. (comunicação pessoal, 2011)

Nos dados da Amazônia Legal, as estimativas de herdabilidade direta para o P120 variaram de 0,20 a 0,49 (Tabela 2), e considerando os dados da base geral do PMGRN – Nelore Brasil, a característica P120 teve uma herdabilidade direta de 0,23, resultados estes dentro dos parâmetros encontrados por Siqueira et al. (2003) e Cyrillo et al. (2004), de 0,04 e 0,58, respectivamente; e as de herdabilidade materna variaram de 0,08 a 0,27 nos dados da Amazônia Legal e 0,11 nos dados da base geral do PMGRN – Nelore Brasil, resultado superior ao de 0,04 encontrado por Siqueira et al. (2003) e Cyrillo et al. (2004), e ao encontrado por Nobre et al. (2003), de 0,18. Estes resultados indicam que a influência do ambiente ainda pode ser razoavelmente alta e, portanto, precisa de cuidados especiais, principalmente o ambiente de criação proporcionado pela matriz ao bezerro, já que é quando os zebuínos estão no pico da curva de lactação (GARNERO et al., 2010).

O peso aos 210 dias representa o peso em que o animal é normalmente desmamado e representa a habilidade materna da vaca em fazer o bezerro ganhar peso do nascimento à desmama. As estimativas de herdabilidade para P210 nos dados da Amazônia Legal foram iguais a 0,21 para habilidade direta e 0,27 para habilidade materna, resultado acima do encontrado por Marcondes et al. (2002) de 0,19 e inferior ao encontrado por Cyrillo et al. (2004) de 0,48, ambos em animais da mesma raça para peso aos 205 dias.

As estimativas de herdabilidade direta para P450 foram iguais a 0,48 para os dados da Amazônia Legal e 0,34 nos dados da base geral do PMGRN – Nelore Brasil, valores estes que sugerem que essa característica, quando selecionada, pode promover ganhos genéticos, expressando a capacidade do animal em ganhar peso no período pós-desmama. As herdabilidades relatadas foram inferiores à reportada por Bertazzo et al. (2004), de 0,75 e superiores ao encontrado por Nobre et al. (2003), de 0,25, em animais da mesma raça para peso ao sobreano.

Para PE450 encontraram-se estimativas de herdabilidade direta de 0,45 para os dados da Amazônia Legal e 0,43 nos dados do PMGRN – Nelore Brasil, valores superiores ao relatado por Vargas et al. (1998) de 0,28 em animais da raça Brahman, e inferiores ao encontrado por Quirino et al. (1999) de 0,76 em animais Nelore, contudo, os resultados encontrados neste estudo foram similares aos relatados por Pereira; Eler; Ferraz (2001), Cabrera et al. (2002) e Reyes et al. (2003).

A idade ao primeiro parto é uma característica que tem grande importância zootécnica, pois marca o início da vida produtiva das fêmeas. A análise em modelo de característica única para IPP, assim como a herdabilidade desta característica para os dados da Amazônia Legal e os da base geral do PMGRN – Nelore Brasil estão descritos nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

As correlações genéticas aditivas nos dados da Amazônia Legal entre P120 com P210 e P450 foram altas (0,92 e 0,91, respectivamente), assim como as correlações entre P120 e P450 nos dados do PMGRN – Nelore Brasil, indicando que grande parte dos genes de ação aditiva que atuam sobre o peso pré-desmama também atua sobre os pesos pós-desmama, na mesma direção, e sugerem que a seleção para maior peso à desmama, além de mais rápida e menos onerosa que para os pesos pós-desmama, pode levar a ganhos favoráveis, sendo portanto um bom critério de seleção. Resultado este semelhante ao encontrado por Toral et al. (2004), utilizando dados de bovinos da raça Nelore criados em três regiões do Mato Grosso do Sul, os quais encontraram altas correlações de P205 com P365 e P550, indicando que

genes que atuam sobre o peso à desmama também atuam sobre os pesos aos 12 e aos 18 meses de idade.

Segundo alguns autores, as diferenças substanciais de covariância entre efeitos genéticos diretos e maternos em diferentes regiões podem ser resultantes da ação da IGA (ELER et al., 1995; MEYER, 1992; ROBINSON, 1996). Robinson (1996) constatou que grande proporção da correlação negativa entre os efeitos direto e materno para o peso à desmama pode ter sido causada pela interação do tipo touro x ano, a qual é especialmente importante quando uma grande quantidade de reprodutores é introduzida na população a cada ano. Através da inclusão da interação touro x rebanho como componente aleatório no modelo animal, Eler et al. (2000) verificaram que as correlações genéticas entre efeitos direto e materno se aproximaram de zero, ou tornaram-se até mesmo positivas. Porém, quando a interação foi omitida, as correlações foram negativas. Para estes autores, a covariância, em geral negativa, pode estar aumentada em sua magnitude pela interação, forçando os animais com DEPs positivas para peso a apresentarem DEPs negativas para habilidade materna e vice-versa.

**Tabela 4.** Análise em modelo de característica única para Idade ao Primeiro Parto (IPP), em animais Nelore da Amazônia Legal.

Característica	Parâmetro genético				
	$\sigma^2_A$	$\sigma^2_E$	$\sigma^2_P$	$h^2_d$	$e^2$
IPP (dias)	2,47	9,25	11,7	0,21±0,03	0,79±0,03

$\sigma^2_A$  = variância genética aditiva;  $\sigma^2_E$  = variância residual;  $\sigma^2_P$  = variância fenotípica;  $h^2_d$  = herdabilidade;  $e^2$  = fração da variância fenotípica devida ao efeito de ambiente temporário.

**Tabela 5.** Análise em modelo de característica única para Idade ao Primeiro Parto (IPP) e Peso aos 210 dias de idade (P210), em animais Nelore do PMGRN – Nelore Brasil.

Característica	Parâmetro genético					
	$\sigma^2_A$	$\sigma^2_m$	$\sigma^2_E$	$\sigma^2_P$	$h^2_d$	$h^2_m$
IPP (dias)	2,10	-	17,38	19,48	0,11	-
P210 (kg)	92,83	38,55	177,62	371,32	0,25	0,10

$\sigma^2_A$  = variância genética aditiva;  $\sigma^2_E$  = variância residual;  $\sigma^2_P$  = variância fenotípica;  $h^2_d$  = herdabilidade;  $e^2$  = fração da variância fenotípica devida ao efeito de ambiente temporário.

Fonte: Bezerra, L.A.F. (comunicação pessoal, 2011)

A idade ao primeiro parto apresenta herdabilidade que varia de 0,01 a 0,46 (GRESSLER et al., 1998; LÔBO, 1998; MERCADANTE; LÔBO; OLIVEIRA, 2000; PEREIRA; ELER; FERRAZ, 2000), mas principalmente baixa, indicando que a seleção não deve resultar em grandes progressos. Adicionalmente, a vantagem de se incluir esta

característica nos programas de melhoramento está associada à facilidade de medição (GRESSLER, 1998). Observou-se na Tabela 4 que a herdabilidade da IPP teve valor mediano, comportando-se como a maioria das características reprodutivas, de  $0,21 \pm 0,03$ , superior ao encontrado por Dias; Faro; Albuquerque (2004) com média 0,16, e inferior ao relatado por Bertazzo et al. (2004) que encontraram herdabilidade de 0,37. Na Tabela 5, observou-se que a herdabilidade para IPP teve valor de 0,11, abaixo do relatado por Dias; Faro; Albuquerque (2004) com média de 0,16. A herdabilidade direta para P210 foi de 0,25 para herdabilidade direta e 0,10 para herdabilidade materna.

Comparando as herdabilidades das características dos dados obtidos na Amazônia Legal com os dados do PMGRN – Nelore Brasil, pode-se observar que as características tiveram resultados divergentes entre os dois bancos de dados, indicando a presença de IGA, especialmente em relação aos aspectos maternos, de peso ao sobreano e de IPP. Toral et al. (2004) estudaram o efeito da IGA sobre as características de crescimento de bovinos da raça Nelore criados em três microrregiões homogêneas do estado do Mato Grosso do Sul, e concluíram que o efeito das microrregiões sobre os pesos estudados evidencia as particularidades de cada uma.

As correlações de *rank* entre DEPs das características estudadas obtidas nos arquivos da base geral do PMGRN – Nelore Brasil e nos registros dos animais criados na região da Amazônia Legal encontram-se na Tabela 6.

**Tabela 6.** Correlações entre classificações<sup>1</sup> dos animais da raça Nelore, avaliados na base geral do PMGRN – Nelore Brasil (g) e na base de registros da Amazônia Legal (a).

$\begin{matrix} g \\ a \end{matrix}$	DP120m	DP120d	DP210m	DP210d	DP450	DPE450	DIPP
DP120m	0,556 (P<0,0001)						
DP120d		0,773 (P<0,0001)					
DP210m			0,578 (P<0,0001)				
DP210d				0,791 (P<0,0001)			
DP450					0,829 (P<0,0001)		
DPE450						0,789 (P<0,0001)	
DIPP							0,383 (P<0,0001)

<sup>1</sup> as correlações entre diferentes características não teriam aplicação no trabalho e não foram calculadas.

DP120m\* = DEP materna para peso aos 120 dias de idade; DP120d\* = DEP direta para peso aos 120 dias de idade; DP210m\* = DEP materna para peso aos 210 dias de idade; DP210d\* = DEP direta para peso aos 210 dias de idade; DP450\* = DEP para peso aos 450 dias de idade; DPE450\* = DEP para perímetro escrotal aos 450 dias de idade; DIPP\* = DEP para idade ao primeiro parto.

As correlações entre classificações de *rank* para P120, P210, P450, PE450 e IPP foram iguais a 0,77, 0,79, 0,82, 0,78 e 0,38, respectivamente, indicando a presença de IGA, com exceção da característica P450, se levar em consideração o critério de Robertson (1959) e De Mattos; Bertrand; Misztal (2000) os quais concluíram que quando as correlações entre diferentes ambientes forem maiores que 0,80, haveria evidências de que os reprodutores seriam classificados de forma semelhante, ou seja, não haveria IGA.

Análises de dados de campo têm indicado a presença de correlações entre classificações de *rank* significativas entre informações de desempenho dos animais em diferentes ambientes, tanto entre regiões dentro de um mesmo país quanto entre países. Nesser; Erasmus; Wyk (1998) encontraram este efeito sobre peso à desmama de bovinos da raça Bonsmara em duas regiões da África do Sul, sugerindo uma possível reclassificação dos touros entre estas regiões. O mesmo foi constatado por Nunn et al. (1978) em animais da raça Simental distribuídos em oito regiões dos Estados Unidos, onde o efeito da interação touro x região não foi significativo para peso ao nascimento, porém foi suficientemente pronunciado para peso à desmama. Para esta mesma característica, Espasandin; Alencar; Urioste (2005) analisaram os valores genéticos e as classificações de touros da raça Angus do Brasil e do Uruguai, considerando ou não as interações genótipo x país. Estimaram-se as correlações de ordem entre os valores genéticos dos touros comuns a ambos países, obtidos pelos diferentes modelos. Tanto as correlações genéticas, quanto as de ordem dos valores genéticos dos touros apontaram efeitos da IGA sobre o caráter analisado e sobre a classificação dos reprodutores nos diferentes ambientes.

A alteração da classificação de touros também foi observada por Toral et al. (2004) para as características peso ao nascimento, aos 205, 365 e 550 dias, em bovinos Nelore provenientes de três regiões de Mato Grosso do Sul. Lopes et al. (2008) observaram baixas correlações entre as DEPs de animais avaliados em diferentes ambientes na região Sul do Brasil, para peso ao nascimento, peso à desmama e peso ao sobreano na raça Nelore.

Ferreira et al. (2001), não evidenciaram efeito da IGA até a desmama em animais Nelore. Porém, no período pós-desmama, seu efeito foi considerado elevado. Na raça Tabapuã, Fridrich; Silva; Fridrich (2005) constataram influência da IGA sobre a classificação dos touros para o peso aos 205 e 365 dias.



## 6. CONCLUSÃO

As análises preliminares foram importantes para o conhecimento da população a ser trabalhada, seu tamanho, a distribuição dos registros entre Estados, o número de grupos contemporâneos, entre outros fatores que influenciam as decisões sobre a metodologia e modelos a serem utilizados nos estudos subsequentes. As análises da interação genótipo-ambiente, por meio das estimativas de herdabilidade, evidenciaram maiores efeitos sobre os aspectos maternos, de peso aos 450 dias de idade e idade ao primeiro parto, enquanto que as correlações entre classificações mostraram fortes evidências em quase todas as características estudadas. Com isso, a mudança de desempenho entre os animais de acordo com a variação do ambiente pode gerar prejuízos aos criadores que adquirirem um animal bem colocado no ranqueamento do PMGRN – Nelore Brasil, pois o mesmo pode não ter o desempenho desejado quando utilizado na Amazônia Legal.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, L.G. Regressão aleatória: nova tecnologia pode melhorar a qualidade das avaliações genéticas. In: SIMPÓSIO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MELHORAMENTO ANIMAL, 5, 2004, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: SBMA, 2004.
- ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype-environment interaction in applied plant breeding. **Crop Science**, v.4, p.503-508, 1964.
- BALIEIRO, J.C.C. **Heterogeneidade de variância na avaliação genética de bovinos da raça Nelore**. 2001. 88f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- BANOS, G.; SHOOK, G.E. Genotype by environment interaction and genetic correlations among parities for somatic cell count and milk yield. **Journal of Dairy Science**, v.73, n.9, p.2563-2573, 1990
- BASU, S.B.; CHATTARAJI, J. Genotype-environment interaction in the evaluation of sires of crossbred cows. **Indian Journal of Animal Science**, v.58, n.7, p.808-811, 1988.
- BERTAZZO, R.P. et al. Parâmetros genéticos de longevidade e produtividade de fêmeas da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.5, p.118-1127, 2004.
- BOLDMAN, K.G. et al. **A manual for use of MTDFREML: a set of programs to obtain estimates of variance and covariance**. [DRAFT]. Agriculture of Research Service. 120p., 1995.
- BOWMAN, J.C. **An introduction to animal breeding**. London: Edward Arnold, 1974. 76 p.
- BUENO, R.S. et al. Efeito da interação reprodutor x rebanho e reprodutor x rebanho-ano na avaliação genética de animais da raça Pardo-suiça. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ, 2004. CD-ROM.
- CABRERA, M.E. et al. Parâmetros genéticos para perímetro escrotal na raça Nelore. **Arquivos de Ciência Veterinária e Zoologia da Unipar**, v.5, n.2, p.225-229, 2002.
- CALUS, M.P.L.; BIJMA, P.; VEERKAMP, R.F. Effects of data structure on the estimation of covariance functions to describe genotype by environment interactions in a reaction norm model. **Genetics, Selection, Evolution**, v.36, n.5, p.489-507, 2004.
- CARNEIRO, A.P.S. et al. Erros na classificação de touros, vacas e touros jovens geneticamente superiores avaliados na presença de heterogeneidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.5, p.1907-1914, 2006.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 390p.
- CUBAS, A.C.; PEROTTO, D.; ABRAHÃO, J.J.P. Desempenho até a desmama de bezerros Nelore e cruzados com Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.3, p.694-701, 2001.
- CYRILLO, J.N.S.G. et al. Modelagem e estimação de parâmetros genéticos e fenotípicos para peso do nascimento à seleção (378 dias) de machos Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1405-1415, 2004.

DE MATTOS, D.; BERTRAND, J.K.; MISZTAL, I. Investigation of genotype x environment interactions for weaning weight for Herefords in three countries. **Journal of Animal Science**, v.78, p.2121-2126, 2000.

DE JONG, G.; BIJMA, P. Selections and phenotypic plasticity in evolutionary biology and animal breeding. **Livestock Production Science**, v.78, p.195-214, 2002.

DIAS, L.T.; FARO, L.; ALBUQUERQUE, L.G. Estimativa de herdabilidade para idade ao primeiro parto de novilhas da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.1, p.97-102, 2004.

DICKERSON, G.E. Implications of genetic-environmental interaction in animal breeding. **Animal Production**, v.4, p.47-63, 1962.

DIMOV, G. et al. Variance of interaction effects of sire and herd for yield traits of Holsteins in California, New York, and Pennsylvania with an animal model. **Journal of Dairy Science**, v.78, n.4, p.939-946, 1995.

DUNLOP, A.A. Interactions between heredity and environment in the Australian Merino. I. Strain x location interactions in wool traits. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.13, n.6, p.503-531, 1962.

ELER, J.P. et al. Estimation of variances due to direct and maternal effects for growth traits of Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, v.73, p.3253-3258, 1995.

ELER, J.P. et al. Influência da interação touro x rebanho na estimação da correlação entre os efeitos genéticos direto e materno em bovinos da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1642-1648, 2000.

ESPASANDIN, A.C.; ALENCAR, M.M.; URIOSTE, J.I. Algumas implicações da interação genótipo x país nos resultados das avaliações genéticas da raça Angus do Brasil e do Uruguai. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BNRASILEIRA DE ZOOTECHNIA, 42., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2005. CD-ROM.

FALCÃO, A.J.S. et al. Heterocedasticidade entre Estados para produção de leite em vacas da raça Holandesa, usando métodos Bayesianos via amostrador de Gibbs. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.2, p.405-414, 2006.

FALCONER, D.S. The problem of environment and selection. **The American Naturalist**, v.86, p.293-298, 1952.

FERREIRA, V.C.P. et al. Interação genótipo-ambiente em algumas características produtivas de gado de corte no Brasil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.53, n.3, p.385-392, 2001.

FIKSE, W.F.; REKAYA, R.; WEIGEL, K.A. Genotype x environment interaction for milk production in Guernsey cattle. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.1821-1827, 2003.

FRIDRICH, A.B.; SILVA, M.A.; FRIDRICH, D. Interação genótipo x ambiente e estimativas de parâmetros genéticos de características ponderais de bovinos Tabapuã. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, n.5, p.663-672, 2005.

FRIDRICH, A.B. et al. Interação genótipo x ambiente e estimativas de parâmetros genéticos dos pesos aos 205 e 365 dias de idade de bovinos Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.60, n.4, p.917-925, 2008.

GARNERO, A.V. et al. Estimação de parâmetros genéticos entre pesos pré e pós-desmama na raça Nelore. **Archivos de Zootecnia**, v.59, n.226, p.307-310, 2010.

GRESSLER, S.L. **Estudo de fatores de ambiente e parâmetros genéticos de algumas características reprodutivas em animais da raça Nelore**. 1998. 149p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

GRESSLER, S.L. et al. Estudo das associações genéticas entre perímetro escrotal e características reprodutivas de fêmeas da raça Nelore. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35, 1998, Botucatu, **Anais...** Botucatu: SBZ, 1998, p.368-370.

HACKNEY, E. Genotype x environmental interactions on reproductive traits of bovine females. I. Age at puberty as influence by breed, breed of sire, dietary regimen and season. **Journal of Animal Science**, v.55, n.6, p.1441-1457, 1982.

HALDANE, J.B.S. The interaction of nature and nurture. **Annals of Eugenics**, v.13, p.197-205, 1946.

HAMMOND, J. Animal breeding in relation to nutrition and environmental conditions. **Biological Reviews**, v.22, n.2, p.195-213, 1947.

HOMMA, A.K.O. et al. Criação de bovinos de corte no Estado do Pará. **Embrapa Amazônia Oriental**. Sistemas de Produção, 3, ISSN 1809-4325, Versão eletrônica, Dez./2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/brasil\\_2006/Brasil\\_censoagro2006.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/brasil_2006/Brasil_censoagro2006.pdf).> Acesso em: 14 de junho de 2010.

JOHANSSON, I.; RENDEL, J. **Genética y mejora animal**. Zaragoza: Acribia, 1972. 567 p.

JONG, G. de. Phenotypic plasticity as a production in a variable environment. **American Naturalist**, v.145, n.4, p.493-512, 1995.

KIRKPATRICK, M.; HECKMAN, N. A quantitative genetic model for growth, shape and other infinite-dimensional characters. **Journal of Mathematical Biology**, v.27, p.429-450, 1989.

KIRKPATRICK, M.; LOVESFOLD, D.; BULMER, M. Analysis of the inheritance, selection and evolution of growth trajectory. **Genetics**, v.124, p.979-993, 1990.

KOLMODIN, R.; BIJMA, P. Response to mass selection when the genotype by environment interaction is modelled as a linear reaction norm. **Genetics, Selection, Evolution**, v.36, p.435-454, 2004.

KOLMODIN, R. et al. Genotype by environment interaction in Nordic dairy cattle studied using reaction norms. **Acta Agriculturae Scandinavia, Sect. A, Animal Science**, v.52, p.11-24, 2002.

LÔBO, R.N.B. Parâmetros genéticos para características reprodutivas de vacas zebus na região semi-árida do Brasil. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35, 1998, Botucatu, **Anais...** Botucatu: SBZ, 1998, p.309-311.

LÔBO, R.B. et al. **Avaliação genética de touros das raças Nelore, Guzerá, Brahman e Tabapuã: Sumário 2011.** Ribeirão Preto, ANCP. 2011. 136p.

LOPES, J.S. et al. Efeito da interação genótipo x ambiente sobre o peso ao nascimento, aos 205 e aos 550 dias de idade de bovinos da raça Nelore na Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.1, p.54-60, 2008.

LUSH, J.L. **Animal Breeding Plans.** Iowa State College Press: Ames, 1945.

MARCONDES, C.R. et al. Estudo de modelo alternativo para estimação de componentes de (co)variância e predição de valores genéticos de características de crescimento em bovinos da raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.54, n.1, 2002.

MCBRIDE, C. The environment and animal breeding problems. **Animal Breeding Abstract**, v.26, n.4, p.349-358, 1958.

MERCADANTE, M.E.Z.; LÔBO, R.B.; OLIVEIRA, H.N. Estimativas de (co)variâncias entre características de reprodução e de crescimento em fêmeas de um rebanho Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.4, p.997-1004, 2000.

MEYER, K. Estimating covariance functions for longitudinal data using a random regression model. **Genetics Selection Evolution**, v.30, p.221-240, 1998.

MEYER, K. Variance components due to direct and maternal effects for growth traits of australian beef cattle. **Livestock Production Science**, v.31, p.179-204, 1992.

MOHAMMAD, W.A.; LEE, A.J.; GROSSMAN, M. Genotype environment interaction in sire evaluation. **Journal of Dairy Science**, v.65, n.5, p.857-860, 1982.

NEPHAWE, K.A. et al. Sire x ecological region interaction in Bonsmara cattle. **South African Journal Animal Science**, v.29, n.3, p.189-201, 1999.

NESSER, F.W.C., ERASMUS, G.J.; WYK, J.B. Quantifying herd-year-season x sire interaction in Bonsmara cattle. **South African Journal Animal Science**, v.28, p.167-172, 1998.

NOBRE, P.R.C. et al. Analyses of growth curves of Nelore cattle by multiple-trait and random regression models. **Journal of Animal Science**, v.81, p.918-926, 2003.

NOGUEIRA, E. et al. Comparação de perfil andrológico de 4443 touros Nelore criados extensivamente no planalto e pantanal Sul-Matogrossense. Disponível em: <[http://www.genesisvet.com.br/index.php?conteudo=canal&id=8&canal\\_id=32](http://www.genesisvet.com.br/index.php?conteudo=canal&id=8&canal_id=32)>. Acesso em: 10/10/2011.

NUNN, T.R. et al. Region by sire interaction for reproduction traits in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.46, n.4, p.957-964, 1978.

OLIVEIRA, H.N. Grupos de contemporâneos e conectabilidade. In: CURSO SOBRE AVALIAÇÃO GENÉTICA EM BOVINOS DE CORTE, 1. 1995, Ribeirão Preto. Apostila... Ribeirão Preto: USP, p.1-13, 1995.

PANI, S.N. **Genetic x environment interaction in sire evaluation**. Missouri: [s.n.], 1971. 138 p.

PÉGOLO, N.T. **Interação genótipo-ambiente e sensibilidade ambiental em características de crescimento em bovinos de corte**. 2005. 76f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Júlio de Mesquita, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu.

PEREIRA, E.; ELER, J.P.; FERRAZ, J.B.S. Correlação genética entre perímetro escrotal e algumas características reprodutivas na raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1676-1683, 2000.

PEREIRA, E.; ELER, J.P.; FERRAZ, J.B.S. Análise genética de algumas características reprodutivas e suas relações com o desempenho ponderal na raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.53, n.6, p.720-727, 2001.

PEREIRA, J.C.C. **Melhoramento genético aplicado à produção animal**. 5. ed. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2008.

QUIRINO, C.R. et al. Estudo da variabilidade genética de características reprodutivas em touros da raça Nelore. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v.7, n.1, p.63-74, 1999.

REIS, J.C.; LÔBO, R.B. **Interação genótipo-ambiente nos animais domésticos**. Ribeirão Preto: Gráfica e Editora F.C.A., 1991. 183 p.

REYES, A.B. et al. Variabilidad genética de medidas alternativas del perímetro escrotal en ganado Nelore. **Livestock Research for Rural Development**, v.15, n.10, 2003.

RIBEIRO, S. **Estudo das interações genótipo x ambiente em características reprodutivas na raça Nelore**. 2006, 72f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo – Faculdade de Zootecnia e Tecnologia de Alimentos. Pirassununga.

RIBEIRO, S. et al. Influência da interação genótipo x ambiente sobre o peso à desmama em bovinos da raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.61, n.3, p.668-675, 2009.

ROBERTSON, A. The sampling variance of genetic correlation coefficient. **Biometrics**, v.15, p.469-485, 1959.

ROBINSON, D.L. Estimation and interpretation of direct and maternal genetic. Parameters for weights of Australian Angus cattle. **Livestock Production Science**, v.45, p.1-11, 1996.

SAKAGUTI, E.S. et al. Efeito da idade da mãe e do sexo do animal sobre o peso corporal de bovinos Tabapuã em diferentes idades. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p. 552-553.

SCHAEFFER, L.R. Application of random regression models in animal breeding. **Livestock Production Science**, v.86, p.35-45, 2004.

SCHOEMAN, S.J.; JORDAAN, G.G. Animal x testing environment interaction on postweaning liveweight gains of young bulls. **Animal Journal Agricultural Research**, v.49, n.4, p.607-612, 1998.

SIMONELLI, S.M. **Heterogeneidade de variâncias e interação genótipo x ambiente no desempenho de animais Nelore em diferentes regiões do Mato Grosso do Sul**. 2004. 133f. Tese (Doutorado em Zootecnia, Produção Animal) – Universidade Estadual de Maringá, Faculdade de Zootecnia, Maringá.

SIQUEIRA, R.L.P.G. et al. Análise da variabilidade genética aditiva de características de crescimento na raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.1, p.99-105, 2003.

SOUZA, J.C. et al. Effect of genotype x environment interaction on weaning weight of Nelore calves raised in four different regions of Brazil. In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 6, 1998. Armidale, Austrália. **Proceedings...** 1998 CD-ROM.

SUDAM – Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. **Amazônia Legal**. Disponível em: [http://www.ada.gov.br/index.php?option=com\\_content&task=section&id=9&Itemid=47](http://www.ada.gov.br/index.php?option=com_content&task=section&id=9&Itemid=47). Acesso em: 13/05/2010.

TORAL, F.L.B. et al. Interação genótipo x ambiente em características de crescimento em bovinos da raça Nelore no Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1445-1455, 2004.

VAN VLECK, L.D. Genotype and environment in sire evaluation. **Journal of Dairy Science**, v.46, p.983-989, 1963.

VAN VLECK, L.D. Selection when traits have different genetic and phenotypic variances in different environments. **Journal of Dairy Science**, v.70, p.337-344, 1987.

VAN VLECK, L.D.; KING, S.C.; DOLITTLE, D.P. Sources of variations in the Cornell controls at two locations. **Poultry Science**, v.42, p.1114-1125, 1962.

VARGAS, C.A et al. Estimates of genetics parameters for scrotal circumference, age at puberty in heifers, and hip height in Brahman cattle. **Journal of Animal Science**, v.76, p.2536-2541, 1998.